

"Filigrane" numérique pour les maillages 3D

Nicolas TOURNIER¹ (Doctorant 3ème année, informatique)
William PUECH², Gérard SUBSOL³, Jean-Pierre PEDEBOY⁴ (Directeurs de thèse)

Laboratoire d'Informatique de Robotique et de Microélectronique de Montpellier
Équipe ICAR (Image et Interaction)
Université de Montpellier II
34095 MONTPELLIER cedex, France

¹nicolas.tournier@lirmm.fr

²william.puech@lirmm.fr, ³gerard.subsol@lirmm.fr, ⁴jp.pedeboy@cadwin.com

Mots clés — maillages 3D, insertion de données cachées, stéganographie, tatouage

Depuis plusieurs années, dans le domaine de la conservation du patrimoine, de nombreuses quantités de données sont échangées. Dans le but d'enrichir les données multimédia sans augmenter la taille des données, l'insertion de données cachées peut être une solution. Du fait que les données sont très volumineuses, nous devons utiliser des algorithmes de faible complexité.

L'insertion de données cachées a d'abord été appliquée sur des fichiers audio, puis sur des images et des vidéos. Depuis environ dix ans, quelques méthodes ont été proposées pour la 3D.

Dans cet article, nous présentons l'intérêt du tatouage. Puis nous proposons deux types de méthodes de dissimulation 3D. La première se base sur des acquisitions volumiques (CT-scan), dans chaque coupe nous insérons de l'information par des méthodes classiques issues du tatouage 2D. L'autre méthode de dissimulation est faite sur des acquisitions surfaciques. Dans ce cas nous nous servons des connexions du maillages pour insérer de l'information. Ces deux méthodes seront détaillées dans les sections suivantes accompagnées de quelques résultats expérimentaux.

I. RÉSUMÉ DÉTAILLÉ

De nos jours, la création de modèles 3D volumineux pour la conservation du patrimoine ne cesse d'augmenter ce qui soulève des problématiques intéressantes. Selon [1], les principaux challenges à relever pour les modèles graphiques 3D sont :

- la gestion des droits numériques ;
- la gestion des métadonnées ;
- l'indexation et la recherche dans les bases de données.

L'insertion de données cachées peut être un bon compromis pour répondre à ces problématiques.

1.1. Vulgarisation du tatouage numérique

Prenons un billet de banque, tout le monde sait que lorsqu'on le regarde à la lumière le filigrane apparaît. On peut faire correspondre cette métaphore avec le tatouage numérique, où le billet de banque est une image, ou un objet 3D par exemple ; qu'on appelle le signal hôte. Le filigrane est le message caché dans le signal hôte.

En poursuivant dans cette analogie, pour ajouter le filigrane le billet a du être imprimé d'une manière bien particulière avec du matériel adapté. Le choix du matériel et la disposition du filigrane est le processus de synchronisation qui sert à identifier les zones dans laquelle on insère de l'information. Alors l'impression à proprement parlé est l'algorithme d'insertion du message. La figure 1 illustre le processus complet d'insertion du message.

Pour voir le filigrane, il suffit de regarder le billet à la lumière. Cette action est par analogie l'algorithme d'extraction du message. La figure 2 illustre le processus complet d'extraction du message.

1.2. Applications

Nous parlons de tatouage robuste lorsque le message inséré peut être récupérer même si le signal hôte a subi des transformations. Dans le cas de données géométriques, ces déformations peuvent être des translations, des rotations, des homothéties, un lissage, une compression, etc. Ainsi, il est possible d'utiliser le tatouage robuste pour des applications de gestion de droits, dans le but de garantir l'authenticité du document en dissimulant une signature.

Dans le cadre d'application de recherche de traces (*fingerprinting*), si un client veut acquérir légalement une donnée, lors de la transaction l'algorithme dissimule les identifiants du client dans le document. En cas de distribution illégale, il est possible de tracer le responsable.

De plus, il est possible d'enrichir la donnée en insérant ses métadonnées telles que des commentaires ou des données bibliographiques par exemple. Contrairement aux applications précédentes, nous avons pas besoin de méthodes robustes, mais de pouvoir insérer beaucoup d'informations sans augmenter la taille du signal hôte, nous parlons d'algorithme à haute capacité. Il est alors possible dans un maillage 3D, de dissimuler des textures, des sons, un objet de basse résolution par exemple.

Comme nous le montrons, les possibilités d'utilisation du tatouage numérique sont multiples. Néanmoins, pour chaque application il faut trouver un compromis entre la capacité (le nombre maximum de bits qu'il est possible de dissimuler), l'imperceptibilité, la robustesse, la sécurité de l'algorithme (au sens de Kerckhoffs[2]) et sa complexité algorithmique. Les données étant généralement très volumineuses, il faut des algorithmes de faible complexité.

Nous avons développés diverses méthodes de tatouage 3D. Nous présentons en section II. une méthode se basant sur

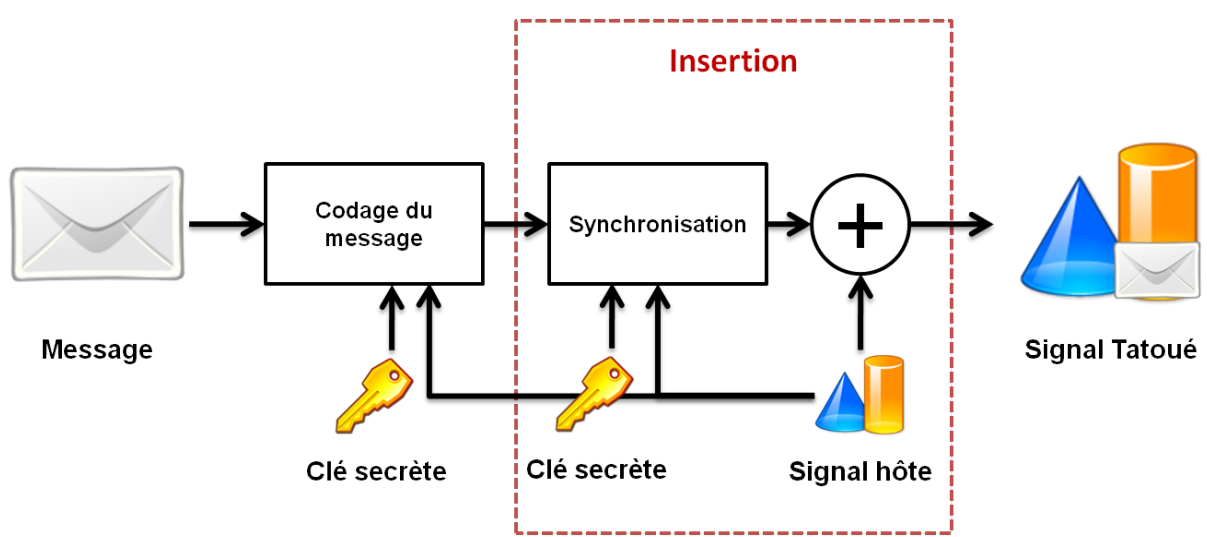


FIGURE 1 : Algorithme d'insertion de l'information.

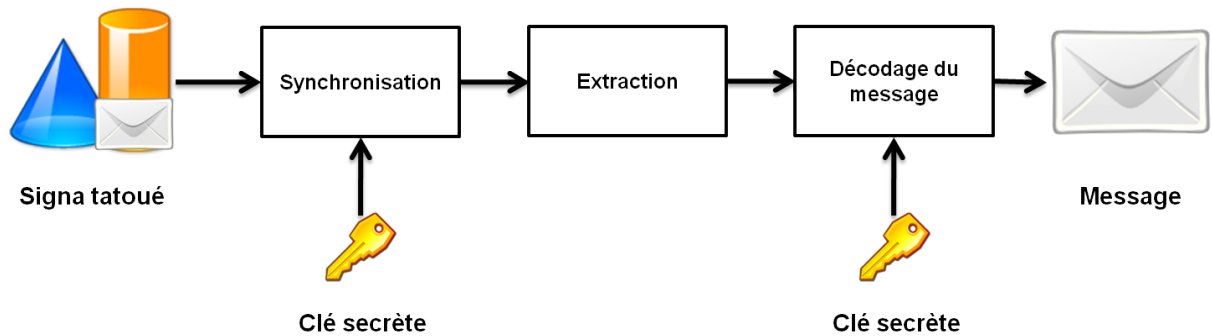


FIGURE 2 : Algorithme d'extraction de l'information.

des données volumiques qui correspondent à une séquence d'images 2D et en section III. une méthode qui se base sur un maillage 3D surfacique.

II. INSERTION DE DONNÉES CACHÉES SUR DES IMAGES 3D

Nous travaillons des images 3D, donc chaque coupe est équivalente à une image 2D. Pour cette approche, l'idée est d'utiliser des algorithmes bien connus du tatouage 2D sur chaque couche.

Nous avons choisi une méthode simple et bien connue pour tatouer les images 2D. Il suffit de substituer le dernier bit significatif (LSB) de chaque pixel par un bit du message que l'on veut dissimuler [3]. A l'extraction, il suffira de lire les pixels dans le bon ordre et de récupérer le LSB pour reconstruire le message.

Une fois les images tatouées, nous construisons un modèle surfacique équivalent [4]. La figure 3 illustre la reconstruction d'un maillage à partir d'une image 3D originale et de l'image 3D tatouée. On ne remarque aucune différence perceptuelle entre les deux maillages.

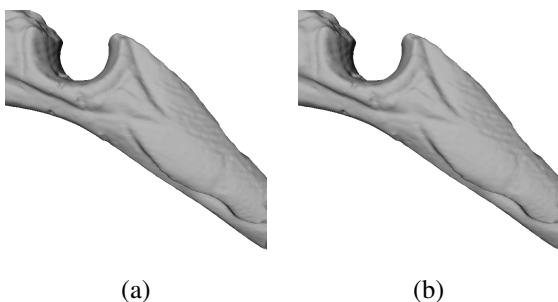


FIGURE 3 : Le maillage 3D reconstruit à partir de l'image 3D originale (a) et de l'image 3D tatouée (b).

Expérimentalement, nous avons une image 3D du "bâton percé" composée de 125 coupes de dimension (382 x 82 pixels) dans laquelle nous insérons une image 2D de 25.8 bits. La figure 4.a montre la coupe originale n°54, 4.b la même coupe tatouée et 4.c est la différence entre les deux images. Nous mesurons la distorsion entre les deux images en calculant le PSNR ainsi pour une valeur supérieure à 40 dB on obtient une image de très bonne qualité. En moyenne on obtient un PSNR de 63.8 dB, ce qui est une excellente qualité, il est impossible de percevoir les modifications.

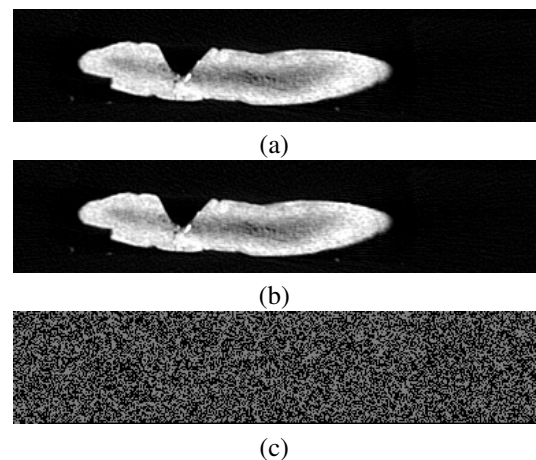


FIGURE 4 : Comparaison de la coupe n° 54 du "bâton percé" originale (a), de la même coupe tatouée (b) et l'image différence (c). PNSR = 51.2 dB.

De la même façon, on compare les maillages reconstruits (figure 3). Il n'y a strictement aucune différence entre les deux modèles. Cependant il est impossible de récupérer le message dissimulé à partir du maillage, on ne peut l'extraire unique-

ment à partir de l'image 3D.

Pour conclure sur cette méthode, c'est un algorithme très rapide et très simple de tatouage d'image 3D qui peut être utilisé pour des applications d'enrichissement de données.

III. INSERTION DE DONNÉES CACHÉES SUR DES MAILLAGES 3D

Nous avons montré précédemment comment tatouer un objet 3D volumique en s'inspirant des techniques du tatouage 2D. Il serait intéressant de modifier directement le maillage pour insérer de l'information. De nombreuses techniques existent, la plupart d'entre elles étant robustes aux transformations géométriques rigides.

Peu de méthodes ne déplacent aucun point du maillage [5, 6, 7]. L'originalité de [5] est de modifier uniquement les connexions entre les sommets, sans augmenter la taille du fichier et sans déplacer un seul point. Pour synchroniser, c'est-à-dire trouver un ordre sur l'ensemble des points, ils utilisent un arbre couvrant de poids minimum [8] (Euclidean Minimum Spanning Tree, EMST). C'est une structure qui pour un ensemble de points est unique, et à partir d'un sommet racine le parcours des sommets est unique. Ce qui rend cet objet mathématique très intéressant pour la synchronisation [9, 10].

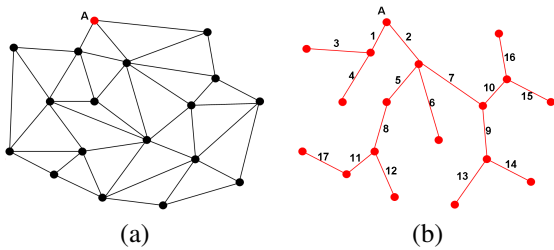


FIGURE 5 : Un exemple de maillage (a) et de son arbre couvrant de poids minimum associé (b). On remarque que les connexions dans l'arbre ne correspondent pas nécessairement aux arêtes du maillage.

Nous illustrons sur la figure 6.a le maillage surfacique du "bâton percé" ainsi que son EMST fig. 6.b. Du fait que la position des points n'est pas modifiée, l'arbre reste identique après le tatouage.

Dans l'arbre, les auteurs recherchent des quadruples (un sommet et trois fils) dans lesquels ils dissimulent un bit d'information. L'insertion est assez simple, si nous voulons dissimuler un 0 l'arête qui se trouve dans l'arbre se trouve aussi dans le maillage. Sinon, pour insérer un 1 on choisi l'autre arête. Ce processus d'insertion est illustré sur la figure 7.

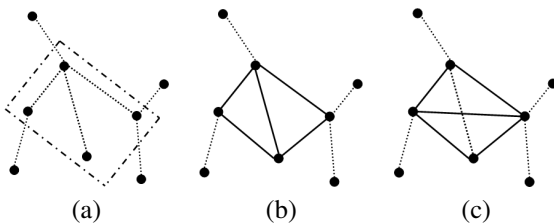


FIGURE 7 : Illustration de l'arbre couvrant de poids minimum (a), du maillage lors de l'insertion d'un bit à 0 dans un quadrangle sélectionné (b) et d'un bit à 1 (c).

Afin de ne pas créer d'importantes distorsions perceptuelles et de problème de synchronisation, les quadruples doivent vérifier ces conditions :

- Coplanarité : les deux triangles doivent être planaires (fig. 8), un seuil de sélection des quadrangles est fixé ;
- Convexité : le quadruple doit être convexe car en cas de permutation d'une arête la surface recouverte doit être proche de l'originale (fig. 9) ;

- Couverture : si deux quadruples sont voisins, alors un seul est choisi pour le tatouage.

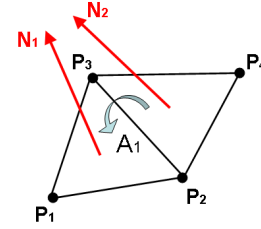


FIGURE 8 : Illustration de la contrainte de coplanarité.

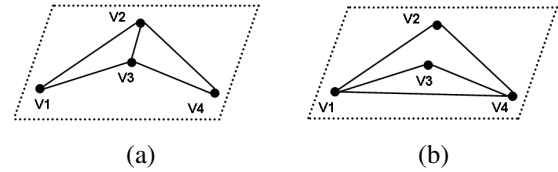


FIGURE 9 : Illustration de la contrainte de convexité.

Au lieu d'évaluer la distorsion sur la position des points (qui serait nulle), nous évaluons l'imperceptibilité sur la distorsion des centres de gravité de chaque facette en calculant une distorsion de Hausdorff.

Le nombre de quadrangles sélectionné dépend du seuil de coplanarité fixé initialement. Plus le seuil est bas, plus on force les quadrangles à se trouver dans le même plan et ainsi la capacité d'insertion diminue. Pour un seuil fixé à 1° , on peut insérer au maximum 4466 bits dans le "bâton percé" (composé de 98251 sommets et 197214 facettes) ce qui entraîne une distorsion maximale de 0.001637. En d'autres mots, pour une diagonale de 10 cm, l'erreur maximale est de 1 mm. Respectivement pour un seuil fixé à 30° , on peut insérer 21698 bits avec une distorsion maximale de 0.029063.

La méthode est intéressante car on garde le maillage aussi fidèle que possible à l'original en ne modifiant que les connexions. Cependant, la complexité de l'algorithme est trop importante (quadratique en fonction du nombre de sommets).

De plus la méthode est très sensible aux modifications. Nous nous sommes intéressés par la suite à l'amélioration de cette technique par l'étude du déplacement possible des points tout en conservant le même arbre [9].

IV. CONCLUSION

Le tatouage peut être utilisé dans le cadre d'applications pour la conservation du patrimoine afin de protéger et enrichir les modèles 3D. Les données sont volumineuses, donc nous devons développer des algorithmes rapides.

Nous avons montré deux approches différentes pour la dissimulation d'information dans les données 3D qu'elles soient volumiques en s'inspirant des techniques bien connues du tatouage 2D ou surfaciques sans modifier la position des points dans le maillage.

RÉFÉRENCES

- [1] D. Koller, B. Frischer, and G. Humphreys. Research Challenges for Digital Archives of 3D Cultural Heritage Models. *Journal on Computing and Cultural Heritage (JOCCH)*, 2(3) :1–17, 2009.
- [2] A. Kerckhoffs. La Cryptographie Militaire. *Journal des sciences militaires*, 9(5-38) :161–191, 1883.
- [3] C.K. Chan and LM Cheng. Hiding Data in Images by Simple LSB Substitution. *Pattern Recognition*, 37(3) :469–474, 2004.
- [4] W.E. Lorensen and H.E. Cline. Marching Cubes : A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm. In *Proceedings*

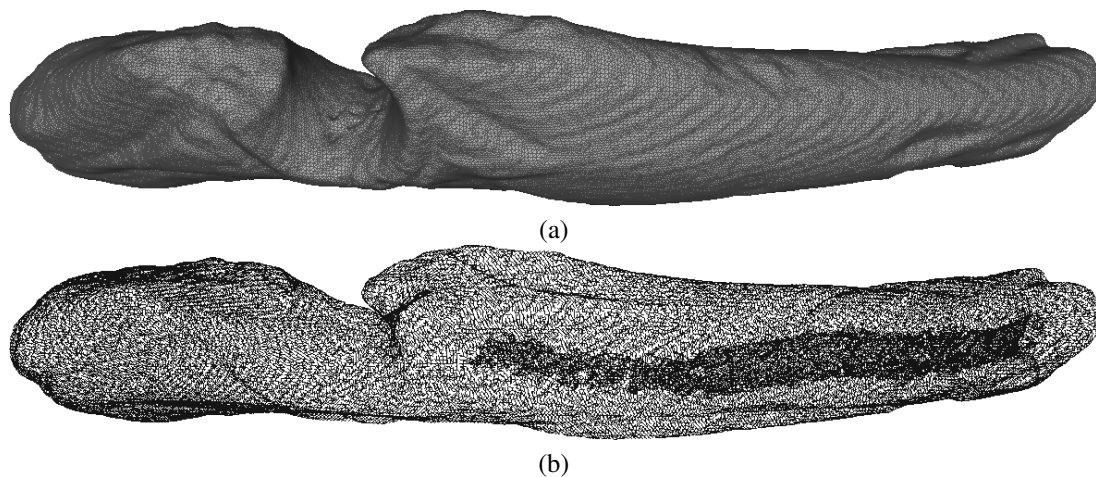


FIGURE 6 : Illustration du "bâton percé" (a) et de son EMST (b).

of the 14th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, page 169. ACM, 1987.

- [5] P. Amat, W. Puech, S. Druon, and J.P. Pedeboy. Lossless Data Hiding Method Based on MST and Topology Changes of 3D Triangular Mesh. In *EUSIPCO'08 : 16th European Signal Processing Conference, Lausanne, Switzerland*, 2008.
- [6] R. Ohbuchi, H. Masuda, and M. Aono. Watermaking Three-Dimensional Polygonal Models. In *Proceedings of the Fifth ACM International Conference on Multimedia*, pages 261–272. ACM New York, NY, USA, 1997.
- [7] X. Mao, M. Shiba, and A. Imamiya. Watermarking 3D Geometric Models Through Triangle Subdivision. In *Proc. SPIE*, volume 4314, pages 253–260, 2001.
- [8] R.C. Prim. Shortest Connection Networks and Some Generalizations. *Bell System Technical Journal*, 36 :1389–1401, 1957.
- [9] N. Tournier, W. Puech, G. Subsol, and J-P. Pedeboy. Sensitivity Analysis of Euclidean Minimum Spanning Tree. In *SPIE'10 : 3D Image Processing (3DIP) and Applications, San Jose, USA (CA)*, 2010.
- [10] N. Tournier, W. Puech, G. Subsol, and J-P. Pedeboy. Feature Vertices for 3D Synchronization Using Euclidean Minimum Spanning Tree. In *SPIE'11 : 3D Image Processing (3DIP) and Applications, San Francisco, USA (CA)*, 2011.